영역교차법, 왜곡각 분류자 및 명암도 상관행렬 특징자를 이용한 실시간 섬유 성량 검사 시스템

이응주[†] · 이철희[††]

요 약

본 논문에서는 섬유 제직 공정시 섬유 제품의 질에 영향을 미칠 수 있는 섬유 결함, 결함의 위치 검출 뿐만 아니라 이동중인 섬유의 왜곡각 분류 및 섬유의 밀도를 측정할 수 있는 실시간 섬유 성량 검사 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템에서는 잡음 문제와 실시간 처리를 위하여 광학적 렌즈로부터 섬유의 위사 부분만을 추출한 후 영역교차법을 적용하여 섬유의 밀도를 측정하였으며, 획득된 위사 영상으로부터 평균 기울기와 가우시안 기울기 분류자를 사용하여 고속 이동 섬유 가공 공정시 발생할 수 있는 섬유의 왜곡각 분류를 통해 왜곡각 보정을 하였다. 또한 명암도 상관 행렬 특징자를 이용하여 섬유의 결함 검사와 결함 위치를 추출하도록 하였다. 제안한 알고리즘을 적용하여 구현한 섬유 성량 검사 시스템은 고속 이동 섬유 가공 공정에 있어서 실시간으로 섬유의 밀도 계산과 섬유 결함 검출이 가능하며 섬유 염색, 제직 및 가공공정에 있어서 섬유의 상태를 모니터링 및 제어함으로써 고품질의 섬유 제품 생산이 가능하다

Real-Time Textile Dimension Inspection System Using Zone-Crossing Method, Distortion Angle Classifier and Gray-Level Co-occurrence Matrix Features

Eung-Joo Lee[†] and Cheol-Hee Lee[††]

ABSTRACT

In this paper, we implement a real-time textile dimension inspection system. It can detect various types of real defects which determine the quality of fabric product, defect positions of textile, classify the distortion angle of moving textile and the density of textiles. In the implemented system, we measure the density of textile using zone-crossing method with optical lens to solve the noise and real-time problems. And we compensate distortion angle of textile with the classification of distortion types using gaussian gradient and mean gradient features. And also, it detects real defects of textile and its positions using gray level co-occurrence matrix features. The implemented textile dimension inspection system can inspect textile dimensions such as density, distortion angle, defect of textile and defect position at real-time. In the implemented proposed textile dimension inspection system, it is possible to calculate density and detect default of textile at real-time. And also, it can be produced high quality textile products for the monitoring and controlling of textile states throughout at all the significant working process such as dyeing, manufacturing, and other textile processing.

1. 서 론

섬유 제직 및 가공 공정에 있어서 품질 검사는 섬유 제품의 질과 직접적으로 관련된 중요한 사항 중의 하나이다. 현재까지 대부분의 섬유 가공 공장에서는 섬유 제직 및 교정기에서 20-150m/min까지 고속으로 이동중인 섬유의 성량 검사를 대부분 육안에 의한 수동 검사로 수행하고 있으므로 인건비 및 품질면에서 상당히 비효율적이라 할 수 있다.

본 논문은 1998년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 연구되었음

† 정회원, 동명정보대학교 정보통신공학과 조교수
†† 경운대학교 컴퓨터공학과 전임강사

따라서 섬유 품질의 고급화와 검사의 자동화를 위하여 밀도, 결함, 폭, 마디, 길이 등과 같은 섬유의 성량을 검사하는 시스템 개발에 대한 필요성이 점차 증가하고 있다.

일반적으로 섬유의 성량 검사는 섬유 제품의 고품질화를 개선하는데 있어서 매우 중요한 역할을 수행하며 특히 가공 공정에 있어서 현재 처리 중인 섬유의 정확한 성량에 대한 정보는 비용 절감, 생산성 향상 및 인건비 절감면에 절대적으로 필요하다. 또한 기업에 있어서는 매출의 증가와 고객의 만족도에 대한 직접적인 척도가 되므로 모든 제조 공정 중에서 품질에 대한 검사는 가장 중요한 사항이라 할 수 있으며, 섬유 성량 검사 시스템의 개발은 이러한 요구를 충족 시킬 수 있다고 할 수 있다.

지금까지 섬유 품질을 개선하기 위한 많은 연구들이 진행되었으나[1-3] 검사 방법의 자동화와 실시간 처리 문제 등에 있어서 많은 문제점들을 내포하고 있다. 따라서 이러한 문제점들을 포함한 개선된 성량 검사 시스템은 섬유의 폭, 마디, 밀도 등의 성량을 측정, 기록 및 저장하며 섬유 가공시 왜곡각을 검출 및 보정하며 또한 섬유의 결함들을 자동적으로 검출하여 제어할 수 있어야 한다.

따라서 본 논문에서는 섬유 가공 공정에 있어서 영역교차법과 섬유 왜곡각 분류자 및 명암도 상관행렬 특징자를 이용한 섬유 성량 검사 시스템을 구현하였다. 제안한 시스템은 고속으로 이동중인 섬유의 밀도를 자동적으로 측정하는 섬유 밀도 측정 알고리즘과 섬유 가공 공정에서 고속 이동중인 섬유로부터 획득된 위사 영상으로부터 왜곡 형태를 보정하는 섬유 왜곡각 보정 알고리즘 및 위사 느슨한 형태 결함, 구멍 형태 결함, 셔틀 경사 마크 결함, 셔틀 위사 마크 결함, 경사 형태 결함, 얼룩 결함, 경사 에지 결함, 위사 에지 결함, 경사 실겹침 결함, 위사 실겹침 결함 등과 같은 실 섬유 결함들을 검출하기 위한 섬유 결함 검사 알고리즘으로 구성되었다.

섬유 밀도, 왜곡각 및 결함에 대해 모든 제직 및 가공 공정에서 지속적으로 검사함으로써 섬유의 전반적인 상태에 대한 감시 뿐만아니라 검사 결과에 따른 제직 상태를 제어할 수 있다.

본 논문의 2장에서는 섬유의 조직 형태와 성량 분석 방법에 대해 기술하고 3장에서는 제안한 밀도 측정 알고리즘과 섬유 왜곡각 보정 알고리즘 및 결함 검사 알고리즘을 소개한다. 또한 4장 실험 결과에서는 세가지 형태의 섬유 영상, 왜곡된 위사 영상 및 실 섬유 결함 데이터에 대해 제안한 방법의 결과들을 제시하였고 5장에서 결론과 앞으로의 연구 방향에 대해 기술하고자 한다.

2. 섬유의 조직 형태와 성량 분석 방법

섬유의 성량 검사는 섬유 밀도, 폭, 무늬, 마디, 결함 등과 같은 섬유 제품의 최종 품질에 영향을 미칠 수 있는 요소들에 대한 검사를 의미하며 효율적인 검사를 위해서는 섬유 조직 및 구성에 대한 분석 뿐만 아니라 각각의 성량들의 특성에 따라 분석 방법을 적절하게 수행하여야 실제 가공 공정에서 제품의 품질 제어와 공정 제어가 가능하다.

현재까지 최종 섬유 제품에 대한 고품질화를 유지하기 위해서 지속적인 성량 검사가 이루어져 왔으나 인간의 육안에 의한 수동적인 방법이 대부분이다. 성량 검사를 수동적으로 시행할 경우 작업자의 세심하고 지속적인 관찰과 경험이 필요하므로 비용이 많이 소요되며 이러한 작업은 지루하며 효율성이 떨어지는 단점이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 실시간 자동 섬유 성량 검사 시스템 개발이 필요하며 이를 구현하기 위해서는 무엇보다도 섬유의 기본 조직에 대한 고찰과 접근 방법을 고려하여 시스템을 구현하여야 한다.

일반적으로 섬유는 위사와 경사로 이루어져 있으며 섬유의 구조는 위사와 경사의 상호 연결 상태 뿐만 아니라 위사와 경사를 구성하는 실의 형태에 따라서 평직, 능직 및 주자직의 세가지 형태로 구성되며 이들을 삼원조직이라 한다.

현재까지 알려진 대부분의 섬유 분석 방법[4-5]들은 크게 통계적인 접근 방법(statistical approach) 과 구조적인 접근 방법(structural approach)으로 나눌 수 있다. 통계적인 접근 방법은 영상에 있어서 패턴의 특징, 관심 영역 패턴들의 구조와 형태에 따른 확률적 기반의 접근 방법이고, 반면에 구조적인 접근 방법은 특정 배열 규칙에 의해 반복적으로 구성된 부 패턴과 같이 조직의 구조적인 형태에 따른 분석 방법이다.

두 접근 방법의 차이점은 섬유 구조와 형태, 배열 규칙 및 복잡도에 따라 다르다는 점이며 일반적으로

는 모든 섬유 영상 해석 방법에 유일한 해석 방법은 없다는 것이다. 즉, 동일한 섬유 영상이라고 응용 범위와 목적에 따라서 접근 방법이 달라질 수 있다.

따라서 본 논문에서는 성량 검사 시스템의 실시간 처리 문제와 잡음 문제 및 검사하고자 하는 성량의 범위를 고려하여 복합적인(hybride) 접근 방법을 시도하였다. 즉, 섬유의 밀도 측정과 왜곡각 보정 알고리즘은 실린더 렌즈를 통해 획득된 위사 영상의 구조적 상태에 따라 검사되므로 구조적인 방법에 기반을 두었고, 섬유의 결함 검출은 명암도 상관 행렬 특징자에 기반한 통계적 특성에 따라 결함 유무가 처리되므로 통계적인 방법에 기반을 두고 해석하였다.

3. 제안한 영역교차법, 왜곡각 분류자 및 상관 행렬 특징자를 이용한 섬유 성량 검사 시스템

3.1 영역교차법을 이용한 섬유 밀도 측정 알고리즘

본 논문의 목적은 섬유 밀도 측정 알고리즘과 왜곡각 보정 알고리즘 및 섬유 결함[6] 검사 알고리즘을 포함하는 섬유 성량 검사 시스템을 구현하는 것이다. 일반적으로 섬유 제직 공장에서 포목 교정기[7-8]를 통해 가공 처리되는 섬유는 최저 20m/min에서 최대 150m/min까지 고속으로 이동한다. 따라서 고속 이동 처리되며 복잡하고 미세한 섬유의 조직을 실시간으로 검사하는 것은 쉬운 사항만은 아니다.

또한 최근에는 제직되는 섬유 영상의 구조가 여러 층으로 중복된 형태, 비틀린 형태, 꼬인 형태 등 매우 복잡 다양하므로 일반적인 주파수 해석 방법을 통해서는 다양한 섬유 영상의 밀도 측정이 어렵고 잡음의 영향을 배제할 수 없으므로 본 논문에서는 광학적 렌즈를 통해 밀도를 측정하는 방법을 제시하였다.

제안한 밀도 측정 알고리즘은 CCD 카메라로 부터 입력된 섬유 영상으로부터 위사 영상만을 획득하기 위해 전처리 단계로서 실린더 렌즈를 사용하였다. 섬유에 있어서 밀도의 정의는 섬유의 제곱 인치에 포함된 위사의 개수를 의미하므로 광학적 방법을 통해 위사를 획득할 경우 계산 속도를 줄일 수 있고 섬유 영상으로부터 획득된 위사 영상은 일차원 주파수 성분을 내포하고 있으므로 획득된 위사 영상이 주파수 분석[9]에 의한 방법보다 잡음에 덜 민감한 특성을 가지고 있다.

제안한 알고리즘에서 사용한 실린더 렌즈는 주행하는 섬유의 위사만을 확대하여 디지털 카메라를 통해 컴퓨터에 전달하는 역할을 하며 정확한 초점 거리 유지를 위하여 정밀 렌즈 홀더가 필요하다. 또한 획득된 위사의 확대를 위하여 볼록 렌즈를 사용하였다. 본 알고리즘에서 사용한 실린더 렌즈는 입력되는 상의 수평 성분만을 투과해주므로 입력되는 섬유 영상의 위사 및 경사로 이루어진 조직으로부터 위사 부분만을 투과하는 특성이 있다.

한편 고속으로 처리중인 포목 교정기에서 밀도 측정시 정확성을 유지하기 위해서는 영상을 입력하는 카메라의 셔트 스피드가 이동중인 섬유의 처리 속도와 동기가 맞아야 한다. 본 알고리즘에서는 1/31000초 까지 처리되는 고속처리 CCD 카메라를 사용하였으며 고속으로 입력 영상을 획득할 경우 입사되는 빛의 양이 부족하므로 일정한 빛 에너지를 공급해주는 외부 광원이 필요하다. 외부 광원으로부터 적절한 광량을 공급해 주는 것은 획득된 위사 영상의 해상도에 영향을 미치므로 외부 광원으로 할로겐 램프를 설치하여 DC 37-42V사이에서 섬유의 구조에 따라 적응적으로 일정한 광량이 공급되게 하였다.

일반적으로 직물의 위사는 매우 조밀하므로 1인치 넓이의 섬유 밀도를 측정하기 위해서는 영상처리 보드의 해상도가 높아야하며 또한 이를 바탕으로 컴퓨터에서 실시간으로 교정해 주어야 하므로 고속으로 주행하는 섬유에서 밀도를 측정하기란 매우 어려운 작업이다. 따라서 이를 위해 1/3인치 크기의 섬유를 근접 거리에서 확대하여 위사의 개수를 측정하고 밀도로 변환하기 위해 알고리즘에서 3배를 취하는 방법을 취함으로써 저해상도의 영상처리 보드로 고밀도의 위사를 측정할 수가 있다. 섬유의 1/3인치를 가까운 거리에서 확대하기 위하여 근접렌즈를 카메라에 부착하고 실린더 렌즈를 통과한 섬유의 위사를 확대하는 방법을 택한다.

이러한 방법으로 획득된 위사 영상으로부터 제곱인치내에 포함된 위사 개수를 영역 교차법으로 측정한다. 이때 획득된 위사 영상은 실린더 렌즈의 초점 거리와 면적에 따라서 입력 섬유 영상의 획득 범위를 추정할 수 있으므로 제곱인치당 개수로 역 환산하여 밀도를 계산할 수 있다.

본 알고리즘에서 제안한 영역 교차법은 밀도 측정의 정확성과 잡음의 영향을 줄이기 위하여 일차원

위사 영상으로부터 계산된다. 입력 섬유 영상에서 위사 부분만을 추출하고 다시 볼록렌즈로 확대한 다음 위사의 개수를 측정하기 위하여 수평 영상의 중심 영역을 통과하는 위사의 개수를 측정하게 된다.

영역 교차법에 있어서 위사 영상의 중심 부분을 따라 계산된 수평 명암도값의 평균값은 식 (1)과 같고 이를 영역의 기준값으로 한다. 여기서 X_i는 영상의 수평 명암도값이며 n은 획득된 수평 데이터의 개수이다.

$$\frac{\sum X_i}{n} = m \tag{1}$$

영역의 기준이 되는 전역 수평 명암도의 평균값 m을 기준으로 양의 영역값 $+Z_p$와 음의 영역값 $-Z_n$를 계산하며 식 (2)와 같다. 따라서 식 (1) 및 (2)로 부터 위사 영상은 양의 영역과 음의 영역으로 나뉘어 질 수 있다. 여기서 i는 양과 음의 영역에 포함된 i 번째 영상을 의미한다.

$$\text{if}\ldots(X_i - m)>0\ ;\ \frac{\sum_{i=0}^{m-1} X_i}{m} = +Z_p \tag{2}$$

$$(X_i - m)<0\ ;\ \frac{\sum_{i=0}^{i-1} X_i}{m} = -Z_p$$

만약 양의 기준 영역과 음의 기준 영역 사이를 교차하는 횟수가 N이면 획득된 범위내에서 위사의 개수는 $N/2$이며 이를 섬유의 밀도 정의에 따라 스케일링 함으로써 정확한 밀도 측정이 이루어 진다.

3.2 평균 기울기와 가우시안 기울기값을 이용한 섬유 왜곡각 보정

일반적으로 섬유 제직 공정시 앞절에서와 같이 광 신호 처리 방법으로 획득된 위사 영상은 위사가 수평 방향으로 놓인 정상적인 형태의 위사 영상이 획득된다. 그러나 제직 공정이나 섬유 가공 공정에서 오류가 발생할 경우 정확한 위상 영상 획득이 곤란하며 특히 고속 이동 가공 공정에서 섬유가 틀어져서 진행할 경우 왜곡 방향에 따라 실린더 렌즈의 초점이 맞지 않아 획득된 위사 영상은 정상 상태와 다른 왜곡된 상이 맺히게 된다.

섬유 가공 공정에서 섬유의 진행이 정상 상태가 아닌 왜곡된 상태로 진행되면 가공 공정에서 처리되는 가공, 염색 및 검사 공정에 심각한 오류가 발생될 수 있으며 현행 시스템에서는 이러한 문제를 해결하고자 왜곡 상태를 수작업으로 직접 확인하고 있는 상태로 생산 자동화와 품질의 고급화에는 다소 무리가 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고자 평균 기울기(MOG: Mean of Gradient)와 가우시안 기울기(GOG: Gaussian of Gradient)를 이용하여 가공 공정에서 나타나는 위사의 왜곡각 형태를 분류하여 섬유 가공 공정을 제어하여 보정하는 방법을 취하였다. 일반적으로 섬유 가공 공정에서 고속 이동중인 섬유로부터 획득된 위사 영상의 왜곡 형태는 우측 위사 밀림 형태(RLW: Right Leading Weft), 좌측 위사 밀림 형태(LLW: Left Leading Weft), 좌우측 위사 밀림 형태(LEW:Leading Weft), 좌우측 위사 처짐 형태(LAW: Lagging Weft), 좌측 편중 위사 밀림 형태(LEWLL: Leading Weft Left Lead), 우측 편중 위사 밀림 형태(LEWRL: Leading Weft Right Lead), 좌측 편중 위사 처짐 형태(LWLL: Lagging Weft Left Lead), 우측 편중 위사 처짐 형태((LWRL: Lagging Weft Right Lead)등의 8 가지 형태로 나타난다.

제안한 방법은 먼저 획득한 위사 영상의 좌우축 두 점의 수직축을 따라서 좌우 두개의 기울기값을 구하고 그들의 가우시안 및 평균 기울기값을 양의 방향성, 음의 방향성 및 영 방향성으로 각각 구한다. 좌측 라인 기울기값(G_l), 우측 라인 기울기값(G_r)으로 부터 계산된 왜곡각 분류자MOG 및 GOG는 식 (3)과 같다.

$$GOG = G_l \cdot G_r,\ \ MOG = \frac{(G_l + G_r)}{2} \tag{3}$$

따라서 좌, 우측 라인 기울기값의 부호, 기울기값의 대소 및MOG와 GOG의 부호와 크기값을 조합하여 위사 영상의 왜곡 형태를 분류할 수 있으며 분류된 왜곡 형태 보정하기 위하여 성량 검사기의 메인 컴퓨터로부터 포목 교정기나 가공 처리기로 제어함으로써 왜곡 정도를 교정하는 방법을 취하였다.

실제 섬유 가공 공정에서 섬유는 제직 후 포목교정기라를 통해서 직진처리 되며 이후 수작업에 의해 검사되는 방법으로 처리된다. 따라서 제안한 알고리즘을 실제 적용할 경우 포목 교정기를 통해 섬유가 나오는 곳에 설치하여 섬유의 진행 모양 형태(왜곡 형태)를 파악하여 왜곡각을 보정하고 또 정확한 제

직 상태 유지를 위해서는 결함의 위치를 파악하여 결함 위치를 개략적으로 디스플레이 해줌으로써 고품질의 섬유 제품 생산이 가능합니다. 제직 공정에서 나타나는 위사의 왜곡각 형태를 분류하는 방법은 먼저 획득한 영상의 좌우측 두 스캔 지점에서의 기울기 값을 구하고 각각의 크기를 비교한 다음 크기값과 두지점에서의 기울기의 평균값, 및 두지점에서의 기울기의 가우시안값의 부호 형태를 파악하여 왜곡 형태를 결정한 후 이를 바탕으로 포목 교정기의 상하좌우 롤링장치의 모터 롤링 속도를 조절하여 직진으로 교정한다.

3.3 국부영상별 영상의 명암도 상관 행렬 특징자를 이용한 섬유 결함 검사 알고리즘

섬유의 조직은 섬유를 구성하고 있는 위사와 경사의 전체적인 성질 혹은 단위 요소들의 반복 형태에 의하여 결정될 수 있다. 또한 섬유 결함 검사는 섬유 영상에 있어서 명암도나 색상의 현격한 차이가 발생하는 화소들의 결합 형태나 위치를 검출하는 과정이다.

본 논문에서는 다양한 형태의 섬유 결함을 검출하기 위하여 상관 행렬에 기반한 통계적인 분석 방법을 제안하였다. 상관 행렬은 영상에 있어서 방향 성분과 거리 성분에 의해 구분되어지는 동일 명암도 성분들을 가진 화소들의 상대적인 발생 빈도를 나타내는 정방 행렬로 표시된다.

크기가 N×N인 영상을 f(x,y)로 나타내고 그 영상의 명암도 값을 G, 두화소간의 거리를 d, 그리고 두 화소간의 위치각(position angle)을 θ라고 가정하자. 그러면 두 화소간의 위치각은 0^o, 45^o, 90^o, 135^o와 같은 4방향 성분으로 나타낼 수 있다. 두 화소간에 나타낼 수 있는 상대적인 4 방향 성분은 식 (4)와 같다. 여기서 i, j, k, l는 두 화소간의 위치각을 산출하기 위한 화소의 위치를 의미한다.

$$
\begin{array}{ll}
\theta=0^o & R_H(d): |j-m|=d,\ k-n=0 \\
\theta=45^o & R_{RD}(d): (j-m=d,\ k-n=-d)\ or\ (j-m=d,\ k-n=d) \\
\theta=90^o & R_V(d): j-m=0,\ |k-n|=d \\
\theta=135^o & R_{LD}(d): (j-m=d,\ k-n=d)\ or\ (j-m=d,\ k-n=-d)
\end{array} \tag{4}
$$

또한 위에서 언급한 화소쌍과 그 명암도값 p와 q의 상관 발생 확률값 사이의 관계는 아래식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$
\begin{array}{l}
P(p, q, d,\ 0^o) = \#\{R(d), f(j, k)=p, f(m, n)=q\} \\
P(p, q, d,\ 45^o) = \#\{R(d), f(j, k)=p, f(m, n)=q\} \\
P(p, q, d,\ 90^o) = \#\{R(d), f(j, k)=p, f(m, n)=q\} \\
P(p, q, d,\ 135^o) = \#\{R(d), f(j, k)=p, f(m, n)=q\}
\end{array} \tag{5}
$$

본 논문에서는 두 화소 사이의 상관 행렬로부터 섬유 영상의 결함 부분에서 특징자를 추출하여 결함 유무와 결함의 위치를 파악하고자 대비(CON: contrast) 특징자와 각도 이차 모멘트(ASM: angular second moment) 특징자를 사용하였다. 대비 특징자는 영상에 있어서 명암의 비율에 대한 척도 또는 영상에 있어서 국부 편차의 양에 대한 척도이다. 또한 각도 이차 모멘트는 영상에 있어서 동질성에 대한 척도이다. 수식 (6)과 (7)에 있어서 R은 상관행렬 내의 모든 요소들의 합을 나타낸다.

$$ASM=\sum_p \sum_q \left(\frac{P(p,q)}{R}\right)^2 \tag{6}$$

$$CON=\sum_{n=0}^{m-1} S^2 \left\{ \sum_{|p-q|=s} \left(\frac{P(p,q)}{R}\right)\right\} \tag{7}$$

따라서 위에서 언급한 수식에 기반한 섬유 결함 검사 과정은 다음과 같다. 먼저 검사 처리 시간을 줄이고 결함 위치를 파악하기 위하여 256×256 명암도 섬유 영상을 32×32 국부 영상별로 분할한 후 각각의 국부 영상들은 실시간 처리 속도 문제를 해결하기 위하여 16단계 명암도 값으로 줄인다. 또한 명암도값을 낮춘 각각의 국부 영상에서 결함 검출을 용이하게 하고자 히스토그램 상세화 과정을 거친다. 그 다음 국부 영상의 상관 행렬을 구하고 CON과 ASM 값을 누적하고 또한 두 특징자들의 평균값을 구하여 평균값과 누적된 값의 절대값으로 부터 정상 상태의 값과 비교하여 섬유 결함 검출 여부를 판단하게 된다. 이때 각 방향별로 정상상태의 3% 정도 허용오차를 두었다. 또한 각각의 결함 검출 국부 영상의 검출 위치로부터 결함의 위치를 상대적으로 파악할 수 있다. 그림 1에 제안한 섬유 성량 검사 시스템의 전체적인 구성도를 나타내었다.

4. 실험 및 결과

본 논문의 실험에서는 256×256 크기의 섬유 영상
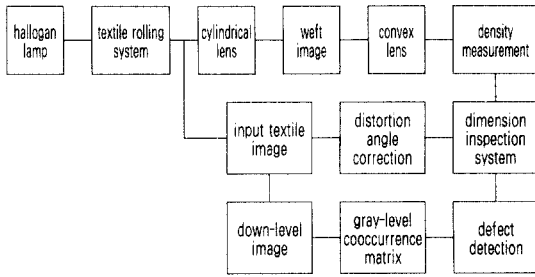
그림 1. 성량 검사 시스템 구성도

과 해상도 256인 영상에 대해 섬유의 밀도 측정과 결함 검사 및 결함 위치 추출을 위한 실험을 하였다. 섬유의 밀도 측정을 위한 실험에서는 섬유의 삼원조직 즉 평직, 능직 및 주자직의 세 가지 섬유 영상과 1.5 cm×2.5 cm×0.5cm크기의 실린더 렌즈 및 최대 출력 DC100V의 할로겐 램프를 사용하였다.

섬유의 왜곡각 보정 또한 섬유의 결함 검사를 위해서는 위사 느슨한 형태 결함, 구멍 형태 결함, 셔틀 경사 표시 결함, 셔틀 위사 표시 결함, 경사 형태 결함, 얼룩 결함, 경사 에지 결함, 위사 에지 결함, 경사 실겹침 결함, 위사 실겹침 결함 등과 같은 10가지 형태의 실 섬유 결함 영상에 대해서 실험을 하였다. 또한 결함 위치 추출을 위해서는 그 중에서 6가지 섬유 영상에 대하여 위치 추출 실험을 하였다.

그림 2는 섬유의 세가지 기본 형태 즉 평직, 능직 및 주자직과 그들의 조직에 대한 결과이다. 그림 3은 세가지 기본 형태의 섬유에 대해서 실린더 렌즈와 할로겐 광원의 직류 전력값을 적응적으로 조정해 가면서 얻은 향상된 결과 영상이다. 실험 결과와 같이

(a) (b) (c)
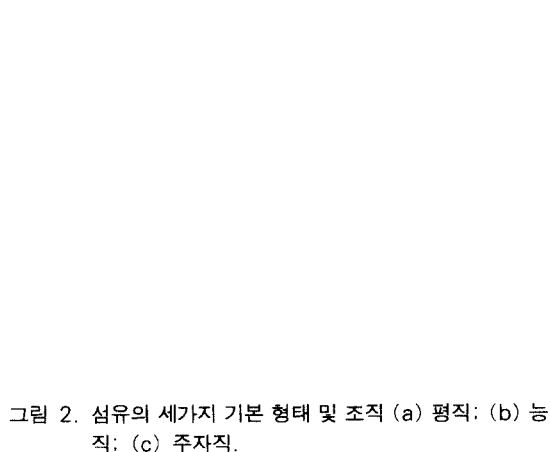
그림 2. 섬유의 세가지 기본 형태 및 조직 (a) 평직; (b) 능직; (c) 주자직.

(a) (b) (c)

그림 3. 외부 광원의 세기에 대한 평직의 위사 영상: (a) 37V; (b) 40V; (c) 42V.

세가지 형태의 섬유 조직은 위사와 경사의 결합 형태에 따라 획득된 위사 영상의 화질의 선명도에 직접적으로 영향을 미칠 수 있으므로 적응적으로 조정되어야한다. 본 실험에서는 평직은 직류 37V, 능직은 직류 40V 그리고 주자직은 직류 42V를 인가했을때 최대 선명도를 유지할 수 있었으며 밀도 측정에 대한 에러를 최소화할 수 있었다. 또한 그림 4는 획득된 섬유 가공 공정에서 발생할 수 있는 섬유의 8가지 왜곡 형태를 나타내었으며 획득된 위사 영상으로부터 섬유의 8가지 왜곡각 보정을 위해 계산된 MOG와 GOG 값의 결과를 표 1에 나타내었다.

그림 5는 결함이 없는 원 섬유 영상과 실제 섬유 제직 공정에서 발생될 수 있는 10가지 형태의 실 결함 영상을 나타내었다. 또한 그림 6은 그림 5의 영상에 대해서 히스토그램 상세화된 결과 영상이며 정확한 결함 검사를 위하여 필요한 정규화된 명암도 분포를 가짐을 알 수 있다. 표 2는 원 영상과 10가지 형태
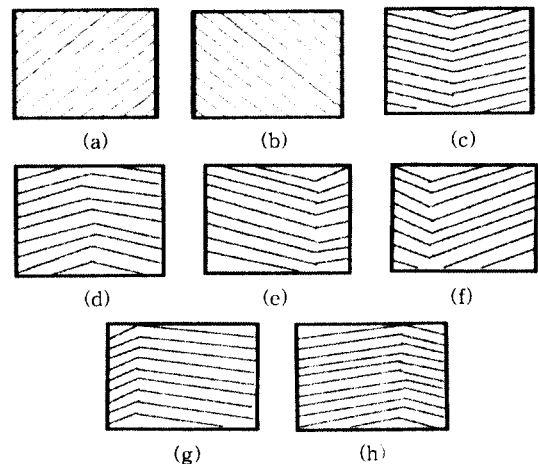
그림 4. 위사 영상의 왜곡 형태: (a) RLW; (b) LLW; (c) LEW; (d) LAW; (e) LEWLL; (f) LEWRL; (g) LWLL; (h) LWRL.

표 1. 섬유의 왜곡각 보정을 위한 분류자

왜곡 형태	기울기		대소비교	특징자	
	G_l	G_r	$\lvert G_l \rvert, \lvert G_r \rvert$	GOG	MOG
RLW	+	+	=	+	+
LLW	-	-	=	+	-
LEW	+	-	=	-	0
LAW	-	+	=	-	0
LEWLL	+	-	<	-	-
LEWRL	+	-	>	-	+
LWLL	-	+	>	-	-
LWRL	-	+	<	-	+

그림 5. 원 영상과 10가지 형태의 실 결함 영상: (a) 원 영상; (b) 위사 결함; (c) 구멍 결함; (d) 셔틀 경사 표시 결함; (e) 셔틀 위사 표시 결함; (f) 경사 결함 (g) 얼룩 결함; (h) 경사 에지 결함; (i) 위사 에지 결함; (j) 경사 실겹침 결함; (k) 위사 실 겹침 결함.

의 결함 영상에 대한 ASM과 CON값을 보여준다. 그림 7은 원 영상, 셔틀 경사 표시 결함, 경사 형태 결함, 작은 구멍 형태 결함, 큰 구멍 형태 결함 및 얼룩 결함 섬유 영상에 대한 히스토그램 상세화 처리된 결과 영상이다. 그림 8은 그림 7의 영상에 대해서 제

그림 6. 그림 5의 영상들에 대한 히스토그램 상세화 처리 결과 영상.

그림 7. 히스토 그램 상세화된 테스트 영상: (a) 원 영상; (b) 셔틀 경사 표시 결함; (c) 위사 결함; (d) 작은 구멍 결함; (e) 큰 구멍 결함; (g) 얼룩 결함.

안한 방법으로 결함 검사를 수행한 결과 결함이 검출된 각각의 국부 영상별 결과를 보여준다.

실험 결과에서와 같이 제안한 섬유 성량 검사 시

표 2. 그림 7의 영상에ASM/CON 값

결함 종류	CON과 ASM값
원영상 (평직기준: 문턱치 ±5%)	CON 0°, d=1 : 369752 CON 45°, d=1 : 1753210 CON 90°, d=1 : 1441674 CON 135°, d=1 : 1618296 ASM 0°, d=1 : 228811048 ASM 45°, d=1 : 108307562 ASM 90°, d=1 : 124237126 ASM 135°, d=1 : 112952350
셔틀 경사 표시 결함	CON 0°, d=1 : 375804 CON 45°, d=1 : 1661710 CON 90°, d=1 : 1298006 CON 135°, d=1 : 1458270 ASM 0°, d=1 : 229663402 ASM 45°, d=1 : 111448516 ASM 90°, d=1 : 130330574 ASM 135°, d=1 : 119121654
위사 결함	CON 0°, d=1 : 397190 CON 45°, d=1 : 1543880 CON 90°, d=1 : 1254524 CON 135°, d=1 : 1537830 ASM 0°, d=1 : 224188308 ASM 45°, d=1 : 117451996 ASM 90°, d=1 : 134607940 ASM 135°, d=1 : 117141398
작은 구멍 결함	CON 0°, d=1 : 397126 CON 45°, d=1 : 1575382 CON 90°, d=1 : 1260756 CON 135°, d=1 : 1490984 ASM 0°, d=1 : 219810618 ASM 45°, d=1 : 113186940 ASM 90°, d=1 : 128845006 ASM 135°, d=1 : 116314358
큰 구멍결함	CON 0°, d=1 : 440400 CON 45°, d=1 : 1267010 CON 90°, d=1 : 1026900 CON 135°, d=1 : 1407680 ASM 0°, d=1 : 218783388 ASM 45°, d=1 : 129103168 ASM 90°, d=1 : 145060814 ASM 135°, d=1 : 124138586
얼룩 결함	CON 0°, d=1 : 376448 CON 45°, d=1 : 1376998 CON 90°, d=1 : 1083170 CON 135°, d=1 : 1277808 ASM 0°, d=1 : 279397680 ASM 45°, d=1 : 169508374 ASM 90°, d=1 : 192720698 ASM 135°, d=1 : 172006332

(a) (b) (c) (d) (e) (f)

그림 8. 그림 7의 영상들에 대한 결함검출 영상: (a) 원 영상; (b) 셔틀 경사 표시 결함; (c) 위사 결함; (d) 작은 구멍 결함; (e) 큰 구멍 결함.

스템의 밀도 측정 알고리즘은 광학적 방법을 통해 향상된 위사 영상을 획득함으로써 잡음에 영향이 적으며 처리 속도가 빠르고 최고 150M/min의 속도로 고속 이동중인 상태에서도 정확한 밀도 측정이 가능하였다. 또한 제안한 섬유 결함 검사 알고리즘도 실제 발생할 수 있는 결함의 정확한 검출 뿐만 아니라 결함의 위치 예측까지 가능하였다.

현재 섬유 가공 공장에서 처리되는 대부분의 섬유들의 이동 속도는 최대 150m/sec이며 구현된 섬유 성량 검사 시스템은 최대 1/31000초 까지 고속이동되는 물체의 성량 검사를 행할 수 있으므로 포목교정기와 연계할 경우 한롤씩 처리되는 실시간 섬유 성량 검사에는 매우 효과적인 방법이다. 따라서 제안한 방법을 섬유 가공 공장에서 실 적용할 경우 포목 교정기를 통하여 나오는 섬유에 대해 CCD 카메라로 입력 영상을 받아서 섬유제직시 왜곡량을 모니터 상에 표시하여 왜곡량에 따라 포목 교정기의 위사 및 경사 조절 모터의 스피드를 곧바로 조절할 수 있으며 가공되고 있는 섬유에 있어서 밀도 개수, 결함의 형태 및 위치를 작업자에게 모니터를 통해 알려줌으로써 작업능률을 향상시킬 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 섬유의 밀도 측정과 결함 검사 및 위치 추출을 통한 성량 검사 시스템 구현에 대한 연구이다. 구현된 시스템은 광학적 렌즈를 통해 섬유의 위사 부분을 획득한 후 영역 교차법으로 밀도를 측정하

는 알고리즘과 명암도 상관행렬 특징자를 이용하여 국부 영상으로부터 섬유 결함 검출과 특징자 분석을 통한 국부 영상으로부터 결함 위치를 추출하는 섬유 결함 검사 알고리즘으로 구성되어 있다.

섬유 가공 공정에 있어서 연속된 작업으로 부터 섬유의 성량을 자동적으로 측정 및 검사함으로써 전체 작업 공정을 모니터할 수 있으며 생산성을 개선할 수 있었다. 또한 성량 검사 과정으로부터 섬유 가공 공정을 제어함으로써 불규칙적인 섬유의 검출과 일정한 밀도를 유지하게 함으로써 고품질의 섬유 생산이 가능하며 또한 이로 인하여 인건비 절감 효과를 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Hartmut Gruber, Sven Kruger and Gunther Wernicke, Optical Processor for Real-Time Detection of Defects in Textile Webs, SPIE vol.3073, pp.307-311. 1997.

[2] Radzivil'chuk and Druzhinina, Use of the diffraction Method for Minitoring Weft Skew, *Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 1990.

[3] K. Srinivasan, P. H. Dastoor, P. Radhakrishnaiah, and Sundaresan Jayarasan, FDAS: A Knowledge-based Framework for Analysis of Defects in Woven Textile Structures, Journal of the Textile Institute, vol. 83, no.3, pp.431-438, 1992.

[4] A. Bodnarova, J. A. William, M. Bennamoun, and K.K. Kubik, Optimal Textile Features for Flaw Detection in Textile Materials, Proc. of the IEEE TENCON'97 Conf. Australia, pp.307-310, 1997.

[5] A. Bodnarova, M. Bennamoun, K. K. Kubic, Defect Detection in Textile Materials Based on Aspets of the HVS, Proceeding of the IEEE SMC'98 Conf., San Diego, U.S.A., 1998.

[6] Atalay A., Ficici R., Ercil A, Defect Classification of Textured Surfaces Using GMRF Models and Neural Networks, Proceeding of IEEE ICRAM, pp.206-211, 1996.

[7] Tsuchiya Machinery Co., *Weft Straightener*, Patent USP 5 142 751, 1992.

[8] H. Eplle, Weft Alignment has Relaxed Textile Movement Before of After Side Clamping and Tensioning, EP 268189, 1993.

이 응 주

1992년 경북대학교대학원 전자공학과(공학석사)
1996년 경북대학교대학원 전자공학과(공학박사)
1992년~1993년 국방과학연구소 품관소 연구원
1997년~현재 동명정보대학교 정보통신공학과 조교수
관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비젼, 신호처리 등

이 철 희

1997년 경북대학교 대학원전자공학과(공학석사)
1997년~현재 동대학원 박사과정 재학중
2000년-현재 경운대학교 컴퓨터공학과 전임강사
관심분야 : 칼라영상처리, 칼라프린팅 등